Volume 10, Number 2, Summer 2018

Journal of

Science & Technology Policy

The Convergence of Technologies in Published Articles of Iranian Researchers During the Period 2001-2015: Word Mining Approach

Ghasem Azadi-Ahmadabadi[1]*, AliMohammad Soltani[2]

1- Supreme Council of the Cultural Revolution, Tehran, Iran
2- Technology Studies Institute,Tehran, Iran

Abstract

Convergence of technologies especially in nanotechnology, biotechnology, information technology, and cognitive science (NBIC) is a significant trend that can be seen in research projects, inventions, and finally, the production of new goods and services. This phenomenon first appears in research and consequently, in scientific publications. Iranian researchers have also followed this trend in research. This study is intended to identify and introduce bilateral or multilateral convergence of NBIC areas based on Iran's scientific publications indexed in Scopus. Convergence is underway with the keywords of four technological fields in the title of articles published from 2001 to 2015 and focused on four types of convergence including materials, techniques, applications, and tools. Accordingly, the greatest convergence is seen in the dual "Nano-Bio" combination and the least convergence in the triple combination of "Cogno-Bio-Nano". The results also show that the "Bio-Info-Nano" type of convergence has taken place in the forms of materials and techniques, in the "Bio-Cogno-Nano" composition as materials; in the "Cogno-Nano-Info" as applications; in the "Cogno-Nano" composition in the forms of materials and applications; in the "Nano-Bio" combination of materials; in the combination of "Nano-Information" as tools and techniques while in the "Cogno-Info" and "Bio-Info" combinations, it was as techniques. Finally, to strengthen the scientific and interdisciplinary co-operation to pave the way for achieving higher levels of convergence, suggestions have been proposed to science and technology policymakers.

Keywords: Co-Word Analysis, Converging Technologies, Iran Scientific Publications, Technology Convergence

* Corresponding author: Azadi_gh@yahoo.com

سال دهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷

فصلنامه علمی-پژوهشی

سیاست علم و فناوری

همگرایی فناوری‌ها در مقالات ۲۰۱۵-۲۰۰۱ پژوهشگران ایرانی: رویکرد واژه‌کاوی

قاسم آزادی احمدآبادی[1*]، علی‌محمد سلطانی[2]

۱- دکترای علم اطلاعات و دانش‌شناسی، دبیرخانه شورای عالی انقلاب فرهنگی

۲- عضو هیأت‌علمی پژوهشکده مطالعات فناوری

چکیده

همگرایی فناوری‌ها به ویژه فناوری‌های نانو، زیستی، اطلاعات و شناختی از روندهای جدی در تحقیقات، اختراعات و همچنین تولید کالاها و خدمات جدید هستند. این پدیده ابتدا در تحقیقات و به تبع آن در انتشارات علمی بروز کرده و محققان کشور نیز این روند را در تحقیقات خود دنبال کرده‌اند. این مقاله قصد دارد روندهای همگرایی دو یا چند فناوری در مقالات محققان ایرانی را بر اساس انتشارات علمی نمایه‌شده در اسکوپوس شناسایی نماید. همگرایی مدنظر از طریق جستجوی کلمات کلیدی حوزه‌های مختلف فناوری‌های چهارگانه در عناوین مقالات ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ بررسی و در چهار نوع همگرایی مواد، فن، کاربرد و ابزار، مطالعه شده است. بر این اساس بیشترین همگرایی در ترکیب دوگانه «نانو-زیستی» و کمترین همگرایی در ترکیب سه‌گانه «اطلاعات-شناختی-زیستی» دیده شده است. یافته‌ها همچنین نشان می‌دهد که در ترکیب «زیستی-اطلاعات-نانو» نوع همگرایی اتفاق‌افتاده به صورت «مواد» و «فن»، در ترکیب «زیستی-شناختی-نانو» به صورت «مواد»، در ترکیب «شناختی-نانو-اطلاعات» به صورت «کاربرد»، در ترکیب «شناختی-نانو» به صورت «مواد» و «کاربرد»، در ترکیب «نانو-زیستی» به صورت «مواد»، در ترکیب «نانو-اطلاعات» به صورت «ابزار» و «فن» و در ترکیب‌های «شناختی-اطلاعات» و «اطلاعات-زیستی» به صورت «فن» است.

کلیدواژه‌ها: فناوری‌های همگرا، همگرایی فناوری، واژه‌کاوی، انتشارات علمی ایران

برای استنادات بعدی به این مقاله، قالب زیر به نویسندگان محترم مقالات پیشنهاد می‌شود:

Azadi-Ahmadabadi, GH., & Soltani, A.M. (2018). **The Convergence of Technologies in Published Articles of Iranian Researchers During the Period 2001-2015: Word Mining Approach.** *Journal of Science & Technology Policy*, 10(2), 1-12. {In Persian}.
DOI: 10.22034/jstp.2018.10.2.539455

۱- مقدمه

در ترکیبات هم‌افزای فناوری‌های همگرا، چهار عنصر نهفته است که پرشتاب‌ترین رشد را طی دهه گذشته داشته‌اند: علوم و فناوری نانو، فناوری زیستی و زیست‌پزشکی (شامل مهندسی ژنتیک)، فناوری اطلاعات (شامل علوم کامپیوتر و ارتباطات) و نهایتاً علوم شناختی (شامل علوم اعصاب شناختی). این فناوری‌ها به صورتی پرشتاب در حال حرکت و نزدیک شدن به یکدیگر هستند. تمرکز آنها بر جنبه‌های انسانی اما هنوز در ابتدای راه بوده و پیش‌بینی می‌شود طی دهه‌های آینده، پیشرفت چشمگیری داشته باشد [۱]. همگرایی می‌تواند نقشه راه نوآوری و به ویژه برای نوآوری ترکیبی باشد. فرآیند مذکور هنگامی اتفاق می‌افتد که یک فناوری جدید یا گروهی از فناوری‌ها، مجموعه‌ای از اجزاء قابل ترکیب برای تولید محصولات و خدمات جدید را پیشنهاد می‌دهد. تمرکز نوآوران و مخترعان رشته‌های متعدد بر روی این اجزاء، شکوفایی فناوری را شتاب بخشیده است [۲].

DOI: 10.22034/jstp.2018.10.2.539455

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Azadi_gh@yahoo.com

هم‌زمان با رشد پدیده همگرایی، محققان تلاش کرده‌اند آن را در تمام سطوح از همگرایی علمی تا همگرایی صنعتی اندازه‌گیری کنند. به دلیل برداشت‌های متعدد از این مفهوم، حصول توافقی مشترک در مورد شاخص‌های همگرایی دشوار خواهد بود. لذا محققان روش‌های مختلفی را برای اندازه‌گیری همگرایی ابداع کرده‌اند. با این مقدمه، رویکردها، شاخص‌ها و موضوعات تحلیل با توجه به سطح و ماهیت متمایز همگرایی در هر سطح، متفاوت است [۳]. هر چند جهت‌گیری کلی در قبال چهار فناوری همگرا در مسیر یکپارچه‌سازی آنهاست اما امکانات فناورانه کنونی هنوز آن‌گونه نیست که این امر را به شکلی مطلوب محقق سازد. یکپارچه‌سازی ناظر بر تلاقی و ترکیب و در حوزه فناوری‌های همگرا نمایانگر انسجام این حوزه‌هاست. آنچه اکنون در حال وقوع است تبادل مرزهای مشترک این چهار فناوری و ارتقاء توان هم‌افزایی آنهاست [٤]. به بیان دیگر در حال حاضر فناوری‌های همگرا به طور کامل به بلوغ و ترکیب نهایی و مطلوب نرسیده‌اند و تلاش می‌کنند از قابلیت‌های مشترک یکدیگر بهره‌مند شوند. به طور نمونه، یک محقق تولیدکننده عضو مصنوعی باید از فناوری نانو برای درک و ایجاد ارگانی در سطح سلولی استفاده کند. پژوهش در مورد فرآیند همگرایی علمی–فنی و مفهوم‌سازی دقیق‌تر از فرآیندها، می‌تواند تصمیمات راهبردی و سیاست‌گذاری در حوزه پژوهش و توسعه محصولات را بهبود بخشیده و به تخصیص صحیح بودجه‌ها و شناسایی حوزه‌های جدید همگرا و روندهای آنها کمک کند [۵].

برای رسیدن به همگرایی در ٤ فناوری مربوطه، باید ابتدا این حوزه‌ها در سطح تحقیقات علمی با هم به اشتراک و هم‌افزایی برسند تا زمینه‌های همگرایی آنها در سطوح بالاتر یعنی فناوری و محصولات فراهم شود. در واقع، مفهوم همگرایی بیشتر در حوزه فناوری کاربرد دارد و زمانی که به حوزه‌های علمی و پژوهشی می‌پردازیم این مفهوم جای خود را به تعاملات میان‌رشته‌ای می‌دهد. بر این اساس و برای شناسایی روندهای همگرایی در پژوهش‌های داخلی، این مقاله قصد دارد تعاملات دو یا چندجانبه این حوزه‌ها را با بررسی انتشارات علمی ایران در موضوع فناوری‌های همگرا که در پایگاه استنادی بین‌المللی اسکوپوس نمایه شده شناسایی کرده و تصویری به متخصصان ذی‌ربط و سیاست‌گذاران علم و فناوری کشور ارائه نماید.

۲- پیشینه موضوع

همگرایی فناوری‌ها یک روند جدی سالیان اخیر بوده و ظهور بسیاری از حوزه‌های علمی چندرشته‌ای و بین‌رشته‌ای و محصولات متنوع با عملکردهای بهتر نیز از نتایج آن است. مطابق یکی از دیدگاه‌های موجود در زمینه فناوری‌های همگرا، نقطه شروع این پدیده علوم شناختی و انسان است. ابتدا باید نحوه و چرایی تفکر در چهار سطح شناختی (فردی، جمعی، سازمانی و اجتماعی) درک شود تا سپس بتوان بر اساس آن، فناوری را طراحی کرد. در گام بعد نیز از علوم و فناوری نانو استفاده می‌شود تا فناوری ساخته شود. فناوری زیستی و پزشکی نیز به این منظورکار گرفته می‌شوند که بتوان آن را اجرا و پیاده‌سازی کرد. در مرحله آخر نیز به وسیله فناوری اطلاعات می‌توان فناوری را نظارت و کنترل و از آن نتیجه گرفت [۱]. این بند تمثیلی از نحوه ارتباط و هم‌افزایی چهار حوزه مرتبط به هم است. به عبارت دیگر ما با فناوری نانو، محصول یا عضوی مصنوعی می‌سازیم که باید از طریق سازوکارهای عصبی (شناختی) و زیستی به انسان متصل و مرتبط و با استفاده از فناوری اطلاعات، کنترل شود.

با وجود جستجوهای عمیق در پایگاه‌های اطلاعاتی، پژوهشی که هم‌زمان چهار حوزه را مورد مطالعه قرار داده و نحوه تعامل آنها را به تصویر کشیده باشد یافت نشد و به همین سبب پژوهش‌های نزدیک به این حوزه ارائه شده‌اند.

بررسی پیشینه فناوری‌های همگرا و مجموعه فعالیت‌های پژوهشی انجام‌گرفته در این حوزه، متنوع بوده اما نکته اساسی این مطالعه تأکید بر روش‌شناسی خاص آن، یعنی کلیدواژه‌کاوی است ضمن اینکه تمرکز اصلی آن بر روی فعالیت‌های انجام‌گرفته با هدف درک میزان و نحوه توجه انتشارات علمی ایران به همگرایی فناوری‌هاست.

بررسی روندهای پژوهشی بر اساس فن داده‌کاوی در انتشارات علمی، عمدتاً طی دهه اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می‌شود.

هیمیریکس[1] در مقاله‌ای پیشرفت حوزه‌های فناوری زیستی،

1- Heimeriks

ژنوم و فناوری نانو طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ را بررسی کرده است. داده‌های پژوهش مذکور از پایگاه WoS استخراج و تعریف وی از میان‌رشتگی نیز مبتنی بر الگوهای نشر علمی توزیع‌شده حوزه‌های فوق‌الذکر در مجلات رشته‌های مختلف بوده که نهایتاً حوزه‌های نانو و زیستی (شامل ژنوم) با استفاده از الگوهای استنادی مجله به مجله تحلیل و ارتباطات علمی نویسندگان نیز با استخراج وابستگی‌های سازمانی مؤلفان مورد سنجش قرار گرفت. طبق یافته‌های این تحقیق تقریباً همه مقالات بررسی‌شده دارای مؤلفانی دو یا چندگانه از رشته‌های مختلف بوده‌اند که بیانگر همگرایی این دو حوزه است [٦].

ونگ و نوتن[1] پژوهشی را با هدف تحلیل نگاشت میان‌رشتگی و الگوهای هم‌تکاملی نانو با دیگر حوزه‌ها بر اساس واژه‌کاوی بیش از ٦۰۰ هزار مقاله منتشره طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ در ۸۷۰۰ مجله معتبر علمی انجام دادند. آنها به پیوند فناوری نانو با حوزه‌های سلامت، پزشکی، نانوزیست‌فناوری و همچنین فناوری اطلاعات و ارتباطات اشاره کرده‌اند [۷].

عرفان‌منش و اصنافی مطالعه‌ای را با رویکرد علم‌سنجی و با هدف بررسی میزان تولیدات علمی بین‌المللی سال‌های ۲۰۰٤ تا ۲۰۱٤ حوزه فناوری‌های همگرا (زیست‌فناوری، فناوری نانو، فناوری اطلاعات و علوم شناختی) در پایگاه WoS انجام داده‌اند. آنها با جستجوی چهار کلیدواژه فوق به ۹۲۰ مدرک علمی منتشرشده دست پیدا کردند. مطابق یافته‌های آنها، کشورهای آمریکا، کره جنوبی و چین دارای بیشترین تولیدات علمی حوزه‌های مورد اشاره بوده‌اند گرچه واضح است که استفاده از صرفاً چهار کلیدواژه فوق نمی‌تواند تمام انتشارات علمی حوزه‌های مدنظر را دربرگیرد [۸].

پورتر و یوتی[2] در پژوهشی ماهیت ارتباطات میان‌رشته‌ای فناوری نانو با سایر حوزه‌ها را از طریق نقشه‌های پوششی علم در مقالات و ارجاعات آنها مورد توجه قرار داده‌اند. به گفته آنها نرخ ترکیب فناوری نانو با سایر حوزه‌ها در حال افزایش است. تحلیل‌ها و نقشه‌های مربوطه نشان داده که پژوهش‌های نانو تنها درون مخازن کوچک محدود نشده و به طور گسترده بر روی دانش دیگر حوزه‌ها ترسیم می‌شوند. طبق این پژوهش که از یک مجموعه داده‌ای مقالات پایگاه WoS بین سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۸ بهره گرفته میانگین امتیازات همگرایی حوزه نانو با دسته‌بندی موضوعی منتخب عبارت بوده از: پزشکی (۰/٦٦)، فناوری زیستی (۰/٦٥)، علوم اعصاب و شناختی (۰/٦٤)، فیزیک (۰/٦۰)، الکترونیک و ارتباطات (۰/٥۳) و ریاضیات (۰/۲۹) [۹]. همین دو پژوهشگر در پژوهش دیگری با هدف شناخت همگرایی فناوری نانو با سایر فناوری‌ها، مقالات استنادشده توسط مقالات نانو را از طریق متن‌کاوی مطالعه کرده‌اند که در یافته‌های آنها، همگرایی فناوری نانو با حوزه‌های علوم رایانه، علوم شناختی و علوم زیست‌پزشکی قابل مشاهده است [۱۰].

ونگ و همکاران در مطالعه‌ای مبتنی بر رویکرد واژه‌کاوی به منظور کشف همگرایی علوم نانو و حوزه‌های نزدیک به آن که همکاری سازمانی را نیز به عنوان یک ابزار کمکی در تشریح ویژگی‌های میان‌رشتگی حوزه‌های پژوهشی فناوری نانو مدنظر داشته حوزه‌های پژوهشی مدنظر را از طریق واژه‌کاوی دسته‌بندی کرده‌اند تا ابعاد دقیق‌تری از تحلیل‌ها در این خصوص فراهم آید. برای این کار با انجام جستجوی واژگانی در پایگاه WoS، ۷۲۳۳٥٦ رکورد مرتبط با سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ از ۸۷۰۰ مجله علمی معتبر به دست آمده و برای انتخاب واژگان مناسب از پنج واژه‌نامه DTIC (اطلاعات فنی دفاعی)، IEEE (علوم رایانه و فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی)، Inspec (فیزیک، مهندسی برق و الکترونیک)، MeSH (پزشکی و سلامت) و NAL (کشاورزی) استفاده شده که نتایج آن نشان می‌دهد که حوزه‌های مشترک نانو به طور سریع در حال افزایش بوده‌اند. پژوهشگران همچنین به این نتیجه رسیدند که حوزه‌های پژوهشی نانو در طولانی‌مدت به سمت همگرا شدن می‌باشند اگر چه درجه این همگرایی عمیقاً بستگی به شاخص‌های انتخابی دارد [۱۱].

۳- روش پژوهش

برای توصیف و تحلیل روابط میان‌رشته‌ای چهار حوزه مورد مطالعه از شیوه هم‌واژگانی، برای استخراج واژگان از نرم‌افزار مصورسازی VOS viewer و به منظور بررسی واژه‌های مشترک و هم‌پوشانی‌ها در حوزه‌های مدنظر از نرم‌افزار Excel استفاده شد. تمرکز این پژوهش بر استفاده از نظرات

1- Wang & Notten
2- Porter & Youtie

خبرگان به منظور حذف واژه‌های عام از تحلیل‌ها و نیز شناسایی واژه‌های مشترک بین دو یا سه حوزه. خبرگان در یک نشست مشترک در مورد حذف واژه، عام یا تخصصی بودن آن و همچنین نوع همگرایی که واژه مدنظر بر آن دلالت داشت نظر دادند.

پژوهش با هدف درک میزان و نحوه توجه انتشارات علمی ایران به همگرایی فناوری‌ها در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ و با گام‌های زیر انجام شد:

- شناسایی مقالات ایرانی در حوزه فناوری‌های همگرا
- بررسی وضعیت واژه‌های تشکیل‌دهنده هر حوزه
- بررسی وضعیت واژگان مشترک در حوزه‌ها به صورت دوبه‌دو
- بررسی وضعیت واژگان مشترک در حوزه‌ها در قالب ترکیب‌های سه‌گانه
- تعیین نوع همگرایی در حوزه‌های مورد مطالعه

۳-۱ جستجو و شناسایی مقالات مرتبط

به دلیل گستردگی و پوشش موضوعی متنوع و همچنین وجود مجلات متعدد از ایران در پایگاه استنادی بین‌المللی اسکوپوس، از این پایگاه جهت استخراج داده‌های کتاب‌شناختی استفاده شد. این پایگاه، حوزه‌های علوم زیستی، پزشکی، علوم پایه، مهندسی، علوم انسانی و غیره را پوشش داده و اطلاعات کتاب‌شناختی حدود ۶۰ میلیون سند از بیش از ۵۰۰۰ ناشر جهان را ارائه می‌کند. جامعه آماری پژوهش شامل کلیه مقالات بین‌المللی ایران به زبان انگلیسی در چهار حوزه فناوری نانو، زیست‌فناوری، فناوری اطلاعات و همچنین علوم اعصاب و شناختی نمایه‌شده در پایگاه اسکوپوس و مربوط به سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ است (مفهوم فناوری‌های همگرا از سال ۲۰۰۰ به بعد رواج یافت و به این دلیل نیز دوره زمانی ۲۰۰۱ به بعد مبنای مطالعه روابط میان‌رشته‌ای قرار گرفته است). اطلاعات کتاب‌شناختی مقالات مدنظر در تاریخ ۶ سپتامبر ۲۰۱۶ استخراج و کل مقالات بررسی شدند (جدول ۱).

از آنجا که حوزه نانو، رده موضوعی مستقلی در پایگاه استنادی اسکوپوس ندارد به منظور بازیابی مقالات مرتبط با این حوزه لازم بود که روش متفاوتی برای این کار در پیش گرفته شود که برای ایم منظور از دستورالعمل جامعی که در قالب یک مقاله پژوهشی تحت عنوان «دستورالعمل جستجوی واژگانی جامع و مختصر برای تعیین انتشارات فناوری نانو» توسط چند پژوهشگر ایرانی ارائه و کارایی آن برای هدف منظور نیز تأیید شده [۱۲] استفاده شد.

جدول ۱) مقالات بررسی‌شده از حوزه‌های فناوری‌های همگرا

ردیف	حوزه مدنظر	تعداد رکوردها
۱	فناوری زیستی	۲۷۵۷۸
۲	فناوری نانو	۲۱۳۹۳
۳	فناوری اطلاعات	۱۶۳۵۸
٤	علوم اعصاب و شناختی	۳۵۳۵
جمع		٦٨٨٦٤

برای بازیابی مقالات حوزه فناوری زیستی از دسته‌بندی پایگاه اسکوپوس تحت عنوان «زیست‌شیمی، ژنتیک و زیست‌شناسی مولکولی»[1] (BIOC) استفاده شد. مطابق تعاریف استاندارد و به ویژه مسائل مطرح در متون مرتبط با بحث همگرایی علوم و فناوری، زیرشاخه‌های مطرح این دسته‌بندی، موارد کلان مورد نظر این پیشینه را پوشش می‌دهد.

برای مقالات حوزه فناوری اطلاعات از دسته‌بندی موضوعی اسکوپوس تحت عنوان «علوم رایانه»[2] (COMP) استفاده شد. این دسته‌بندی و شاخه‌های فرعی آن با تعریف کلی و عمومی از فناوری اطلاعات و ابعادی که از این حوزه در بحث‌ها و متون مربوط به میان‌رشتگی مدنظر است ارتباط بالایی دارد.

برای حوزه علوم شناختی در پایگاه استنادی اسکوپوس یک دسته موضوعی به نام «علوم اعصاب»[3] (NEUR) وجود دارد. از آنجا که در منابع مربوط به بحث همگرایی علوم و فناوری، وجه علوم اعصاب شناختی این حوزه بیشتر مورد تأکید است دسته‌بندی فوق مبنای بازیابی مقالات این حوزه قرار گرفت.

۳-۲ استفاده از واژه‌کاوی برای تحلیل همگرایی

تحلیل و شناسایی واژه‌ها یا عبارت‌های پایه در فناوری‌های همگرا با شیوه واژه‌کاوی امکان‌پذیر است. میزان تکرار و بهره‌گیری مشترک از آنها در هر حوزه، نمایانگر همگرایی و ارتباط موضوعی و محتوایی حوزه‌ها با یکدیگر خواهد بود.

برای نمایه‌سازی واژه‌ها، امکان نمایه‌سازی عنوان، کلیدواژه‌های نویسندگان یا عنوان و چکیده وجود دارد. با استدلال‌های زیر

1- Biochemistry, Genetics and Molecular Biology
2- Computer Science
3- Neuroscience

صرفاً از کلیدواژه‌های عنوان به منظور نمایه‌سازی و تحلیل‌های بعدی استفاده شد:

- ✓ حجم زیاد مدارک مورد مطالعه در هر چهار گروه
- ✓ نبود کلیدواژه‌های نویسندگان برای تمام مقالات
- ✓ لزوم پوشش دادن تمام مقالات در تحلیل‌ها
- ✓ محتوانما بودن عنوان مقالات مورد مطالعه

پژوهش‌هایی که با روش تحلیل هم‌واژگانی انجام شده‌اند در تحلیل نهایی خود از آستانه‌های مختلفی برای شمول کلیدواژه‌های مهم‌تر استفاده کرده‌اند. به عنوان مثال لیو[1] و دیگران تحلیل خود را به ٦٦ کلیدواژه پرتکراری محدود کردند که حدود ۵۵ درصد کل فراوانی را تشکیل می‌داده‌اند [۱۳]. هو[2] و همکاران هم تحلیل نهایی خود را به ۱۸۱ کلیدواژه‌ای محدود کردند که بیانگر ۲۹ درصد از کل فراوانی بوده است [١٤]. صدیقی با این استدلال که معمولاً در فرآیند ترسیم نقشه علم، نسبت تعداد مفاهیم به تعداد مدارک مورد مطالعه باید حدود ۱ به ۳۰ باشد از میان ۷۳۷۵ رکورد مورد مطالعه با در نظر گرفتن حداقل ۱۰ تکرار، ۲۷۲ کلیدواژه را به عنوان مفاهیم اصلی انتخاب کرده است [۱۵]. سهیلی و همکاران با تمرکز بر روی کلیدواژه‌های با تکرار ۵ به بالا، ۱۲۷ کلیدواژه که بالغ بر ۳۸ درصد کل فراوانی کلیدواژه‌ها بودند را بررسی کرده‌اند [١٦].

در این مقاله نیز واژگان دارای پنج رخداد یا بیشتر در تحلیل لحاظ شدند. با بهره‌گیری از نرم‌افزار VOS viewer، کلیدواژه‌ها در مقالات هر چهار حوزه به طور جداگانه نمایه‌سازی و از خروجی آن، کل واژگان مندرج در عناوین مقالات بازیابی شدند. واژه‌هایی وجود داشت که از جنس مفاهیم نبودند (از قبیل کلمات عام، اسامی کشورها یا مناطق جغرافیایی، کلمات اختصاری یا موارد دیگر) مانند Comparison، Effect، Determination، Importance، Analysis، Detection، Pilot Study و Case Report که از جامعه مورد مطالعه خارج شدند. به منظور اطمینان از عدم حذف کلیدواژه‌های معنی‌دار و مهم پیش‌گفته، معنای هر کلمه برای بار اول در فرهنگ واژگان، جستجو و واژگان دارای معنای عام جزء لیست حذف قرار گرفت و در مرحله بعد باز هم برای اطمینان بیشتر، واژه‌هایی که قرار بود از تحلیل‌ها کنار گذاشته شوند در اختیار متخصصان هر چهار حوزه قرار داده شد تا آنها نیز تأیید کنند که کلیدواژه‌های مذکور بی‌معنی بوده یا به تنهایی معنی خاصی در آن رشته ندارند.

مرحله بعد، بهره‌گیری از نظرات خبرگان در رابطه با واژه‌های مشترک بین دو یا سه حوزه بوده و جمعی از متخصصان مرتبط با مرکز راهبردی فناوری‌های همگرا معاونت علمی و فناوری ریاست‌جمهوری در خصوص حذف واژه‌ها، عام یا تخصصی بودن آنها و همچنین نوع همگرایی که یک واژه بر آن دلالت می‌کند نظر دادند. حذف واژه در صورتی اتفاق می‌افتاد که آن واژه، واجد معنایی بسیار کلی بوده و وارد کردن آن در دسته عام یا تخصصی دشوار باشد. واژه‌های عام واژگانی بودند که در ترکیب‌های دوتایی و سه‌تایی اختصاص به یک حوزه خاص نداشتند. واژه‌های تخصصی نیز مواردی بودند که در ترکیب‌ها نماینده مفهوم خاص یک حوزه بودند. نوع همگرایی که این واژه‌های عام یا تخصصی نشان می‌دادند از نظر این خبرگان در چهار دسته «ابزار»، «مواد»، «کاربرد» و «فن[3]» دسته‌بندی شد. به طور نمونه واژه Treatment به معنای درمان یک واژه عام بوده که از نظر همگرایی ذیل دسته فن جای می‌گیرد.

٤- یافته‌ها و تحلیل

٤-١ بررسی کلی وضعیت واژه‌های تشکیل‌دهنده هر حوزه

جدول ۲ وضعیت واژه‌های هر حوزه را نشان می‌دهد. به طور نمونه در حوزه نانو ۲۷۲٤ کلیدواژه وجود داشته که از این میان ۵۸۵ واژه جزء واژه‌های عام یا بی‌معنی بوده و از فهرست واژگان کنار گذاشته شدند. نهایتاً ۲۱۳۹ کلیدواژه تحلیل شدند که با محاسبه تکرارهای آنها، ۵۵٤۳٤ کلیدواژه مورد تحلیل قرار گرفتند. از نکات قابل توجه اینکه بیشترین کلیدواژه‌ها از حوزه نانو بوده در حالی که تعداد مقالات این حوزه کمتر از مقالات حوزه زیستی بوده است. کمترین تعداد واژه‌ها نیز متعلق به حوزه علوم اعصاب و شناختی بوده که با تعداد مقالات این حوزه نیز متناسب است.

پرتکرارترین واژگان مشترک در ترکیب‌های دوتایی و سه‌تایی همگرایی (تا سقف ۲۰ واژه) در جدول ۳ آمده است. واژه‌های داخل پرانتز، واژه‌های حذف‌شده هستند.

1- Liu
2- Hu
3- Technic

جدول ۲) تعداد واژه‌های یافت‌شده در چهار حوزه فناوری‌های همگرا

ردیف	حوزه	کلیدواژه‌های با فراوانی ۵ به بالا	کلیدواژه‌های حذف‌شده	کلیدواژه‌های مورد تحلیل بدون لحاظ تکرار	کلیدواژه‌های مورد تحلیل با لحاظ تکرار
۱	فناوری نانو	۲۷۲٤	٥٨٥	۲۱۳۹	٥٥٤۳٤
۲	فناوری زیستی	۲۲۳۹	٤۳۸	۱۸۰۱	۲۲۷۸٦
۳	فناوری اطلاعات	۱۳٤۳	٤٦٤	۸۷۹	۲۳٤۳۷
٤	علوم اعصاب و شناختی	٤۲۱	۱۰۰	۳۲۱	٥۷۲٥

جدول ۳) پرتکرارترین واژگان مشترک در انواع مختلف همگرایی تا حداکثر ۲۰ واژه (به علاوه واژه‌های حذف‌شده مندرج در داخل پرانتز)

نانو-زیستی	نانو-اطلاعات	شناختی-اطلاعات	اطلاعات-زیستی
catalyst nanocomposite graphene pot synthesis nanotube (crystal structure) carbon paste electrode solvent free condition (simultaneous determination) (alcohol) (preconcentration) (pyridine) (coordination polymer) (silica) glassy carbon electrode single walled carbon-nanotube graphene oxide solid phase extraction single walled carbon nanotube (water sample)	nanoparticle optimization catalyst carbon nanotube nanocomposite adsorption (network) (water) (aqueous solution) graphene sensor (equation) copper genetic algorithm (optical property) static analysis neural network nanotube composite polymer	control artificial neural network management behavior interaction (characterization) (Cell) (learning) suppression memory (stress) Retrieval (validation) treatment drug gene expression	Catalyst (component reaction) (aryl) aqueous medium nanotube (component synthesis) (adaptive neuro fuzzy inference system) nanocomposite (computational study) (knowledge) (dione) (information) (conformational property) (decision) conformational analysis multicomponent reaction solvent free condition density functional study dft calculation
زیستی-شناختی-نانو	**زیستی-اطلاعات-نانو**	**زیستی-شناختی**	**شناختی-نانو**
morphine dopamine	Catalyst nanocomposite graphene nanotube solvent free condition single walled carbon nanotube (aqueous medium) (component reaction) (component synthesis) (computational study) (vibration) (dione) density functional theory study nanofluid (dft calculation) (molecular structure) (voltage) topological index mass transfer (mathematical modeling)	Morphine (place preference) (acquisition) (double blind) dopamine anticonvulsant effect microinjection dorsal hippocampus memory deficit neuroprotective effect spatial learning (blockade) formalin test antinociceptive effect neurotoxicity histamine genetic polymorphism amygdala central amygdala spinal cord injury	Treatment (cell) morphine dopamine drug memory neuron artificial neural network (gene) (inhibition) stem cell (ethanol) (insulin) (inhibitor) (protective effect) (estimation) (apoptosis) (serum) mesenchymal stem cell inhibitory effect
شناختی-نانو-اطلاعات			
(cell) treatment artificial neural network drug memory			

٤-۲ تعیین نوع همگرایی در حوزه‌های مورد مطالعه

مهم‌ترین گام در بررسی واژگان مشترک حوزه‌های مورد مطالعه، استفاده از نظرات خبرگان در شناسایی بهتر واژگان و تشخیص نوع همگرایی آنها بوده که نتایج آن در جدول ٤ ارائه شده است. به عنوان نمونه در ترکیب سه‌گانه «زیستی-اطلاعات-نانو» متخصصان پیشنهاد حذف ٤۰/۸ درصد از واژه‌ها را دادند. از باقیمانده این واژه‌ها (۵۹/۲ درصد)، ۱۱/۱ درصد جزء واژگان عام دسته‌بندی و ٤۸/۱ درصد نیز در دسته واژگان تخصصی جای گرفتند. بیشترین میزان واژگان تخصصی نیز مربوط به ترکیب «زیستی-شناختی» و بیشترین میزان واژگان عام هم متعلق به ترکیب «شناختی-اطلاعات» بوده است. از واژگان عام می‌توان به Catalyst در ترکیب «نانو-زیستی» اشاره کرد و Nanocomposite نیز یک واژه تخصصی به شمار می‌رود.

در ترکیب «زیستی-اطلاعات-نانو» نوع همگرایی اتفاق‌افتاده به صورت «مواد» و «فن» (به میزان مساوی)، در ترکیب «زیستی-شناختی-نانو» به صورت «مواد» و در ترکیب «شناختی-نانو-اطلاعات» عمدتاً به صورت «کاربرد» بوده است. در ترکیب «شناختی-نانو» هم نوع همگرایی رخداده به صورت «مواد» و «کاربرد» (به میزان مساوی)، در ترکیب «نانو-زیستی» بیشتر به صورت «مواد»، در ترکیب «نانو-اطلاعات» تقریباً به تساوی به صورت «ابزار» و «فن» و در ترکیب‌های «شناختی-اطلاعات» و «اطلاعات-زیستی» نیز بیشتر به صورت «فن» بوده است.

به طور مثال در ترکیب «نانو-زیستی» از دیدگاه نوع همگرایی، واژه Pot Synthesis مؤید همگرایی فن، واژه Electrochemical Sensor مبین همگرایی ابزار، واژه diode بیانگر همگرایی کاربرد و واژه Nanocomposite هم نشانگر همگرایی مواد است.

٤-۳ بررسی کلی واژگان و مفاهیم مشابه در ترکیب‌های دوتایی

جدول ۵ وضعیت واژگان مشترک حوزه‌ها در ترکیبات دوتایی را نمایش می‌دهد. به عنوان مثال در ترکیب «نانو-شناختی» ۲۵ واژه مشترک وجود داشته که این تعداد کلیدواژه در حوزه نانو ۷۵۵ بار یعنی تقریباً در همین تعداد مقاله مورد استفاده قرار گرفته و ۱/٤ درصد از کل واژگان مورد تحلیل این حوزه را به خود اختصاص داده و در حوزه شناختی نیز این واژگان مشترک ۸۷۱ مرتبه تکرار داشته‌اند که ۱۵/۲ درصد کل واژگان منتخب این حوزه را پوشش داده است.

باسکولارد[1] و همکاران چندین مقاله را از نظر ترکیب واژگانی و به صورت خوشه‌های موضوعی تحلیل و در نهایت به هفت موضوع کلان تبدیل کردند [۱۷] که اولین و بزرگ‌ترین خوشه آنها، حوزه مشترک «زیستی-نانو» بوده است. یافته آنها با نتایج این پژوهش که ترکیب «نانو-زیستی» را دارای بالاترین میزان واژه مشترک تشخیص داده همسوست و به عبارت دیگر روند مقالات مشترک حوزه‌های نانو و زیستی در بین پژوهشگران

جدول ٤) نتایج حاصل از نظرات خبرگان در مورد واژه‌های مشترک و نوع همگرایی

حوزه ترکیبی مورد بررسی	میزان (درصد) واژه‌های حذف‌شده	عام یا تخصصی بودن واژه‌ها (درصد)		نوع همگرایی			
		عام	تخصصی	ابزار	مواد	کاربرد	فن
زیستی-اطلاعات-نانو	٤۰/۸	۱۱/۱	٤۸/۱	۰/۰	۲۵/۹	۷/٤	۲۵/۹
زیستی-شناختی-نانو	۰/۰	۱۰۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۰۰	۰/۰	۰/۰
شناختی-نانو-اطلاعات	٤۰/۰	٦۰/۰	۲۰/۰	۰/۰	۰/۰	٦۰/۰	۲۰/۰
شناختی-نانو	۵٦/۰	۲٤/۰	۲۰/۰	۰/۰	۱٦/۰	۱٦/۰	۱۲/۰
نانو-زیستی	۳٤/۵	۱۲/۰	۵۳/۵	۸/۵	٤٤/۰	۱/۵	۱۱/۵
نانو-اطلاعات	٤٤/٦	۱٤/۲	٤۰/٤	۱۸/٤	۱٤/۲	۳/۵	۱۸/٤
شناختی-اطلاعات	۳۱/۲	۵٦/۲	۱۲/۵	۰/۰	٦/۰	۱۲/۵	۵۰/۰
اطلاعات-زیستی	۲۹/٦	۱۱/۱	۵۹/۲	۱۳/۰	۱۸/۵	۹/۲	۲۹/٦
زیستی-شناختی	۲۵/۸	۹/۷	٦٤/۵	۳/۲	۳۷/۰	٤/۸	۱۹/٤

1- Bassecoulard

جدول ۵) واژگان مشترک چهار حوزه فناوری‌های همگرا در ترکیب‌های دوتایی

ترکیب‌های مورد بررسی	تعداد واژگان مشترک	حوزه اول	فراوانی واژگان حوزه اول	میزان (درصد) از کل واژگان حوزه اول	حوزه دوم	فراوانی واژگان حوزه دوم	میزان (درصد) از کل واژگان حوزه دوم
نانو-زیستی	٤٨٣	نانو	١٥٨٥٥	٢٨/٦	زیستی	٨٦٦٤	٣٨/٠
نانو-اطلاعات	١٤١	نانو	١١٥٢٦	٢٠/٨	اطلاعات	٤٧٩٩	٢٠/٤
شناختی-زیستی	٦٨	شناختی	٣٠٠٦	<٠/١	زیستی	١٢٤١	٥/٤
اطلاعات-زیستی	٥٦	اطلاعات	١١٩٨	٤/٧	زیستی	١٥١٣	٦/٦
نانو-شناختی	٢٥	نانو	٧٥٥	١/٤	شناختی	٨٧١	١٥/٢
اطلاعات-شناختی	١٦	اطلاعات	١٢١٦	١/٢	شناختی	٦٦٩	١١/٧

ایرانی نیز مشاهده می‌شود. اگر به ترکیب واژه‌های مشترک این دو حوزه نگاهی بیندازیم مشخص می‌شود که به عنوان نمونه، نانوکاتالیست‌ها و نانوکامپوزیت‌های دارای کاربرد زیستی، گرافن که مهم‌ترین کاربردهای آن در حوزه پزشکی و تشخیص بیماری است و یا حسگرها از جمله مهم‌ترین موضوعات همگراکننده محققان ایرانی است.

پس از ترکیب فوق ترکیب «نانو-اطلاعات» بیشترین اصطلاح مشترک را داشته لیکن تعداد واژگان مشترک آنها ۳۰ درصد تعداد واژگان مشترک ترکیب قبلی است. نانوکاتالیست‌ها در اینجا نیز از واژه‌های مشترک است که یکی از دلایل آن کاربرد جدی مواد فتوکاتالیستی در سلول‌های فتوولتائیک است. نانولوله‌های کربنی، گرافن و حسگرها از دیگر واژه‌های مشترک این دو حوزه است که با روند موجود در تجاری‌سازی فناوری نانو و تولید صفحات نمایشگر مبتنی بر نانولوله‌ها و نیز استفاده از گرافن و حسگر در محصولات الکترونیکی مطابقت دارد. بعضی واژه‌های این ترکیب‌ها مانند Simulation و اجزاء آن حذف شدند زیرا نشانه همگرایی این دو فناوری نبوده بلکه مؤید استفاده از نرم‌افزار (به عنوان ابزار) در تحقیقات هستند.

ترکیب «اطلاعات-زیستی» نیز در جایگاه بعد و با فاصله زیاد از ترکیب پیشین قرار دارد. دو ترکیب دیگر یعنی «نانو-شناختی» و «اطلاعات-شناختی» نیز از شرایط کم و بیش یکسانی برخوردارند و تعداد واژه‌های مشترک بین آنها از ترکیب‌های قبلی کمتر است. کمترین تعداد واژه مشابه هم متعلق به ترکیب «اطلاعات-شناختی» بوده است. تعداد واژه‌های مشابه بین دو حوزه نانو و زیستی بیش از سایر ترکیبات دوتایی بوده که به نوعی زمینه‌های موضوعی مشترک بین این دو حوزه از جمله رابطه مغز و رایانه[1] را نشان می‌دهد. از آنجا که حضور حوزه علوم شناختی در ترکیب با سایر حوزه‌ها، سبب افت میزان اشتراک واژه‌های آنهاست شاید بتوان چنین استدلال کرد که این حوزه از نظر واژگان و مفاهیم، ارتباط بالایی با دیگر حوزه‌ها برقرار نکرده و به این دلیل نیز زمینه‌های موضوعی مشترک بین حوزه شناختی با سایر حوزه‌ها پائین است. همچنین ممکن است جدیدتر بودن حوزه علوم شناختی به نسبت سایر حوزه‌ها نیز دلیل دیگری برای این امر باشد.

در همین ارتباط پژوهش [۹] به بررسی روند کانون‌های پژوهشی حوزه‌های علوم زیستی پرداخته و گفته کلیدواژه‌های این حوزه به طور اساسی و سال به سال تغییر کرده است. همچنین طی دهه اخیر تغییرات عمده‌ای در موضوعات اتفاق افتاده و به سمت زیست‌شناسی مولکولی و جنبه‌های نظام‌مندتر مرتبط با علوم نانو تمایل پیدا کرده است. مطالعه [۱۰] نیز نشان داده که نزدیک به ۸۵ درصد پژوهش‌های نانو، چندرشته‌ای است. مطالعه مذکور با خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی اجزاء رشته‌ای نشان داده که محتوای علوم نانو قابل تقسیم به ۹ خوشه بوده که یکی از آنها فناوری نانوزیستی است.

٤-٤ بررسی واژگان و مفاهیم مشترک در ترکیب‌های سه‌تایی[2]

جدول ٦ وضعیت واژگان مشترک حوزه‌ها در ترکیب‌های سه‌تایی را نشان می‌دهد. یافته‌های این مقاله در زمینه بررسی ساختار مفهومی حوزه‌ها مشخص کرد که ترکیب سه‌تایی «نانو-اطلاعات-زیستی» دارای بالاترین میزان واژه مشترک

1- Brain-computer interface

۲- در ترکیب‌های چهارتایی، واژه مشترکی یافت نشد.

جدول ٦) واژگان مشترک چهار حوزه فناوری‌های همگرا در ترکیب‌های سه‌تایی

ترکیب‌های مورد بررسی	تعداد واژگان مشترک	حوزه اول	فراوانی واژگان حوزه اول	میزان (درصد) از کل واژگان حوزه اول	حوزه دوم	فراوانی واژگان حوزه دوم	میزان (درصد) از کل واژگان حوزه دوم	حوزه سوم	فراوانی واژگان حوزه سوم	میزان (درصد) از کل واژگان حوزه سوم
نانو-اطلاعات-زیستی	۲۷	نانو	۲۷۱۲	٤/۹	اطلاعات	٤۰۷	۱/۷	زیستی	۱۱۱۰	٤/۹
شناختی-نانو-اطلاعات	۵	شناختی	۲٦٦	٤/٦	نانو	۳۵۰	۰/٦	اطلاعات	۳٤۹	۱/۵
نانو-شناختی-زیستی	۲	نانو	۱۲۵	۰/۲	شناختی	٤۷۹	۸/٤	زیستی	۱۷۰	۰/۷
اطلاعات-شناختی-زیستی	۰	اطلاعات	۰	۰/۰	شناختی	۰	۰/۰	زیستی	۰	۰/۰

است. می‌توان گفت که اجماع متخصصان این سه حوزه در خصوص مفاهیم مورد استفاده برای پژوهش، بیش از سایر ترکیب‌های سه‌تایی است. در واقع میزان میان‌رشتگی این سه حوزه نسبت به سایر حوزه‌ها بالاتر و به عنوان نمونه گرافن و نانولوله‌های کربنی که از واژه‌های با اشتراک زیاد در این سه حوزه بوده خود از مواد نانو محسوب می‌شوند و در تجهیزات جدید الکترونیکی، پزشکی و مولکولی به کار رفته‌اند.

برای ترکیب «اطلاعات-شناختی-زیستی» واژه مشترکی یافت نشده و دانشمندان ایرانی هنوز وارد این همگرایی نشده‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

یافته‌های این مقاله در رابطه با تعیین نوع همگرایی در ترکیب‌های دوتایی و سه‌تایی حوزه‌ها بیانگر آن است که در تحقیقات پژوهشگران ایرانی نوع همگرایی ترکیب سه‌تایی «زیستی-اطلاعات-نانو» به تساوی به صورت «مواد» و «فن» بوده است. از آنجا که فناوری نانو، نانومواد را برای بهبود فعالیت‌های فناوری زیستی پیشنهاد و عرضه می‌کند تأثیر حوزه نانو بر حوزه زیستی از جنس مواد است که واژه‌های نانوکامپوزیت، گرافن و نانولوله به عنوان مواد مهم فناوری نانو در این ترکیب خودنمایی می‌کنند. همچنین فناوری‌های جدید در قالب دستگاه‌هایی پدید می‌آیند که عموماً از فناوری اطلاعات و الکترونیک استفاده می‌کنند و مؤید این مطلب است که کشفیات علمی مهم مستلزم پیشرفت هر چه بیشتر ابزارهای قوی‌تر و مقرون به صرفه‌تر در جهت تصویرگری، توصیف و دستکاری ساختارهای دارای ابعاد نانو است. با استفاده از این ابزارها خصوصیات بنیادی شامل ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و زیست‌شناختی در انواع سامانه‌های دارای اندازه نانو مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در درازمدت، این ابزارها جای خود را به قطعاتی ارزان‌تر در قالب حسگرهایی با کاربرد آسان‌تر و نیز ابزارهای تشخیصی دارای کاربردهای گسترده‌تر می‌دهند [۱۸]. در همین زمینه، فناوری حسگر زیستی (که با واژه‌هایی مثل نانوسیال در این تحقیق پشتیبانی شده) ترکیبی از علوم زیست‌شیمی، زیست‌شناسی مولکولی، شیمی، فیزیک، الکترونیک و رایانه و شامل یک حسگر کوچک و ماده زیستی تثبیت‌شده بر آن است. امروزه از این حسگرها به عنوان ابزاری توانمند برای شناسایی مولکول‌های زیستی در علوم مختلف پزشکی، صنایع شیمیایی و غذایی، محیط زیست و همچنین تولید محصولات دارویی، بهداشتی و ... بهره می‌گیرند.

نانوساختارها امروزه به دلایل گوناگون در ساختار حسگرهای زیستی به کار رفته و منجر به پیشرفت‌های ارزشمندی در این عرصه شده‌اند. هدف از کاربرد نانومواد در ساختار این ابزارها افزایش سطح مورد نیاز برای تثبیت مواد زیستی و در نتیجه افزایش حساسیت، کاتالیز فرآیند، امکان‌پذیری واکنش در پتانسیل‌های پائین و کمک به انتقال سریع الکترون از مرکز فعال واکنش به سطح الکترود است. استفاده از نانومواد در حسگرهای زیستی می‌تواند با حذف واسطه‌های شیمیایی انتقال الکترون، به ساده‌سازی ابزارها منجر شود که این امر اهمیت فراوانی در توسعه نسل سوم این ابزارها دارد [۱۹].

همگرایی رخداده در ترکیب سه‌تایی «زیستی-شناختی-نانو» عمدتاً در حوزه «مواد» بوده است. همان‌طور که گفته شد در حوزه مواد، اشتراکات نانو و زیستی زیاد است. مواد در قالب

دارو در حوزه علوم شناختی به منظور درمان‌های مربوط به بخش اعصاب و روان به کار گرفته شده است. به دلیل وجود پتانسیل بالا در حوزه فناوری نانو هنگام ترکیب شدن با علوم شناختی و فناوری زیستی برای تولید محصولات، طبیعی است که «مواد» را در نوع همگرایی مشاهده نمائیم.

نوع همگرایی اتفاق‌افتاده در ترکیب سه‌تایی «شناختی-نانو-اطلاعات» به صورت «کاربرد» بوده است. ظاهراً در این ترکیب، فناوری اطلاعات به دلیل بستر الکترونیک و قابلیت‌های مختلف نرم‌افزاری و سخت‌افزاری خود به همگرایی دو حوزه دیگر کمک کرده است.

در ترکیب «شناختی-نانو» همگرایی در حوزه‌های «مواد» و «کاربرد» برقرار شده است. وجود حوزه نانو در این ترکیب سبب نوعی همگرایی شناختی در قالب مواد شده و از طرف دیگر نیز حوزه علوم شناختی با کاربرد، معنا پیدا می‌کند. تصویربرداری از مغز، تحریک مغز، ردگیری عصبی، اصلاح رفتار با نانوروبات و ... جنبه‌هایی کاربردی در ترکیب حوزه‌های نانو و شناختی است. کاشت حسگرهایی با قابلیت ردیابی احساسات و سامانه‌های پیش‌آگاهی سلامت شخص که در بدن کار گذاشته می‌شوند از مصادیق ورود نانو به عرصه علوم شناختی از جنبه مواد است [۲۰].

همگرایی اتفاق‌افتاده در ترکیب «نانو-زیستی» در حوزه «مواد» بوده که به دلیل تمرکز حوزه فناوری نانو بر مواد است. در بلندمدت، توانایی ساخت مواد و ساختارهای برگرفته از زیست‌شناسی، فرصتی بی‌نظیر را برای انواع جدیدی از نظام‌های خودترمیم مواد ایجاد می‌کند که نیاز به پردازش مواد ندارند. خودترمیمی می‌تواند بدون دخالت انسان نیز انجام شود. با بهره‌برداری از ویژگی نظام‌های زیست‌شناختی می‌توان خصوصیات مکانیکی مواد جدید را به گونه‌ای تعدیل کرد که شرایط لازم برای طراحی‌های پیچیده و دقیق را فراهم کند [۱]. «زیست‌مواد» یکی از مثال‌های کاربردی در این زمینه است. علم مواد از مواد زنده استفاده کرده و بین سازوکارهای پژوهشی مختلف و روش‌های توسعه و استفاده از تجهیزات پژوهشی علمی، هم‌پوشانی ایجاد می‌کند [۵].

در ترکیب «نانو-اطلاعات» همگرایی به تساوی به صورت «ابزار» و «فن» بوده است. ابزار و فن در قالب تجهیزات جدید باعث شده‌اند که الکترونیک و نرم‌افزار (فناوری اطلاعات) قابلیت همگرایی با فناوری نانو را به دست آورد. کاربردهای کنونی یا در حال پیشرفت حوزه نانو در زمینه الکترونیک و ارتباطات عبارتند از: سیستم ضبط چندرسانه‌ای با استفاده از نانولایه‌ها، صفحات نمایش مسطح، فناوری سامانه‌های بی‌سیم، قطعات و فرآیندهای جدید در فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی، افزایش زیاد در ظرفیت و سرعت پردازش داده‌ها با قیمت‌های پائین‌تر و بازده بیشتر [۲۱].

نوع همگرایی در ترکیب «شناختی-اطلاعات» به صورت «فن» بوده است. از آنجا که مظهر غالب اطلاعات، الکترونیک است فناوری‌های جدیدی برای بهره‌برداری علوم شناختی از حوزه‌های فنی مطرح شده است. فناوری یعنی همه روش‌های مورد استفاده یک گروه اجتماعی برای حمایت از فعالیت‌های خود و بهبود عملکرد انسانی و مهندسی به معنای ساخت محصولات مبتنی بر فناوری است. با این مقدمه، پژوهش‌های مبتنی بر مهندسی علوم شناختی به منظور بهبود عملکرد انسانی و با برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و اجرای فناوری‌ها اتفاق می‌افتند که هدف آنها باید ارتقاء عملکردها به صورت رفتارهای هدفمند در محیط کاری و در سطوح چهارگانه شناختی (فردی، جمعی، سازمانی و اجتماعی) باشد. برای این کار باید به تعامل مؤثر شناخت و فناوری در قالب یکپارچه‌سازی فناوری با سیستم عصبی مرکزی انسان، یکپارچه‌سازی ویژگی‌های مهم شناخت انسانی با ماشین و یکپارچه‌سازی فناوری‌ها (ابزارهای شناختی مصنوعی) با محیط کاری برای تقویت عملکرد انسانی توجه شود [۲۲].

نوع همگرایی دیده‌شده در ترکیب «اطلاعات-زیستی» به صورت «فن» بوده است. بستر فناوری اطلاعات و نرم‌افزارها و سخت‌افزارها توانسته‌اند به صورت «فن» به فناوری زیستی کمک کنند. انفورماتیک زیستی علم نوینی است که در آن با استفاده از رایانه، نرم‌افزارها و بانک‌های اطلاعاتی تلاش می‌شود به مسائل زیستی به خصوص در ابعاد سلولی و مولکولی پاسخ داده شود. این علم با بکارگیری رایانه تلاش می‌کند پژوهش‌های وسیع‌تری در رابطه با پروتئین‌ها و ژن‌ها به عمل آورد [۲۳]. این حوزه به عنوان یک تخصص میان‌رشته‌ای با ادغام زیست‌شناسی، ریاضیات (به ویژه آمار) و فناوری اطلاعات ایجاد شده است. واژه مشترک Genetic Algorithm نشان‌دهنده این همگرایی است. زیست‌شناسی

مصنوعی، طرحی منطقی بر مبنای ریاضیات، مهندسی و علوم رایانه است که با هدف ایجاد محیطی مرطوب برای مواد زنده، مورد استفاده قرار می‌گیرد. تولید ساختارهایی با کاربردهای ویژه که دارای رفتاری مطمئن و قابل پیش‌بینی بوده و قبلاً در طبیعت وجود نداشته‌اند دیدگاهی فراگیر در سطح پژوهش است. این حوزه، مجموعه‌ای به هم پیوسته و منسجم نبوده و آمیزه‌ای از رشته‌های زیست‌شناسی، مهندسی، فیزیک، شیمی، علوم رایانه و زیست‌انفورماتیک است [۵].

در ترکیب «زیستی-شناختی» فنون مورد استفاده در فناوری زیستی به منظور کشف راهکارهای جدید در محدوده این حوزه، سبب شده نوع همگرایی وقوع‌یافته در این ترکیب از جنس فن باشد. روان‌شناسی فیزیولوژیک به عنوان علمی میان‌رشته‌ای به بررسی رابطه مغز و رفتار می‌پردازد. از زاویه‌ای دیگر می‌توان آن را با عنوان روان‌شناسی زیست‌شناختی و علوم عصبی رفتاری توصیف کرد. کاربرد این موضوع میان‌رشته‌ای به دلیل بررسی فرآیندهای الکتریکی، مغناطیسی، شیمیایی و مولکولی در مغز است که به تنهایی با یکی از شاخه‌های علوم امکان‌پذیر نیست [۲٤]. برای توصیف چگونگی فعالیت سلول‌های عصبی نیاز به اطلاعاتی در کالبدشناسی، بافت‌شناسی، شیمی اعصاب و الکتروفیزیک است و به این ترتیب استفاده از روش‌های مختلف علوم برای توصیف روان‌شناسی فیزیولوژیک ضرورت دارد. اطلاعات فیزیکی-زیستی تشکیلات و ساخت مغز و ارتباط متقابل آنها با علوم رفتاری تبیین می‌شوند [۲٤]. اصول بازخورد زیستی که عمدتاً در روان‌شناسی زیست‌شناختی و به عنوان یک فن کاربردی مورد استفاده است به این مبنای فکری بازمی‌گردد که رفتارهای غیرارادی و خودکار را می‌توان به طور مؤثر و با یک الگوی محرک به صورت شرطی تقویت کرد. در این رابطه باید سازوکارهای کنترل عصبی که شرطی شدن مؤثر روندهای پایه زیست‌شناسی مولکولی را انجام می‌دهند شناسایی شوند. همچنین پژوهشگران در زمینه ایمنی‌شناسی عصبی-روانی باید سازوکارهای دقیق زیستی را پیدا کنند که مغز و سیستم ایمنی را به هم مرتبط می‌کنند [۱]. در واقع ارتباط بین حوزه‌های علوم شناختی و فناوری زیستی در دو زمینه زیست‌روان‌شناسی و روان‌شناسی شناختی، قابل مشاهده است. اگر بپذیریم که تمام جنبه‌های روانی، بخش جدائی‌ناپذیر جنبه‌های زیستی هستند باید قبول کنیم تمام سازوکارهایی که به فهم عمیق‌تر ذهن و روان ما کمک می‌کنند هم با علوم زیستی در ارتباطند.

٦- پیشنهادات

این پژوهش به شناسایی زمینه‌ها و نوع همگرایی در فناوری‌های مورد مطالعه کمک می‌کند و از نتایج آن می‌توان در برنامه‌ریزی‌های آموزشی و پژوهشی و تدوین چارچوب همکاری‌های میان‌رشته‌ای و درون‌رشته‌ای متخصصان گروه‌های مختلف در راستای گسترش مفاهیم و موضوعات مرتبط بهره برد. شناخت قابلیت‌ها و کاستی‌ها در حوزه‌های مرتبط می‌تواند برای سیاست‌گذاران این عرصه کارساز باشد و مسیر تکامل آنها را هموار سازد. دبیرخانه شورای عالی انقلاب فرهنگی؛ ستاد راهبری اجرای نقشه جامع علمی کشور؛ ستاد زیست‌فناوری؛ ستاد توسعه علوم و فناوری‌های شناختی؛ ستاد ویژه توسعه فناوری نانو؛ ستاد فناوری اطلاعات، ارتباطات و میکروالکترونیک؛ پژوهشگران و مؤسسات پژوهشی مرتبط؛ مرکز راهبردی فناوری‌های همگرا؛ وزارت علوم، تحقیقات و فناوری و وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی از جمله ذی‌نفعان و بازیگران عرصه فناوری‌های همگرا هستند.

برای تقویت زمینه‌های همکاری‌های علمی و میان‌رشته‌ای و زمینه‌سازی نیل به سطوح بالاتر همگرایی، پیشنهاد می‌شود:

- میزان بالای تعامل دو حوزه نانو و زیستی، قابلیت همکاری‌ها و پیوندهای بین این دو حوزه را تأیید و ستادهای مربوط به این دو حوزه با برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح، قادر خواهند بود از توان و ظرفیت یکدیگر بهره‌مند شود.
- سرمایه‌گذاری مشترک در سه حوزه نانو، زیستی و اطلاعات، توجیه‌پذیر به نظر می‌رسد. شایسته است ستادهای مرتبط در این خصوص به مطالعه و ارزیابی بیشتری پرداخته و بر این اساس، پروژه‌های پژوهشی مشارکتی تعریف و از متخصصان این سه حوزه بهره کافی را ببرند.
- با توجه به فاصله زیاد تعاملی و ساختاری حوزه علوم شناختی با دیگر حوزه‌ها، ستاد علوم شناختی، زمینه‌های مشارکت سایر حوزه‌ها با این حوزه را از طریق اقداماتی مانند برگزاری کارگاه‌های آموزشی، استقبال از سخنرانی‌های علمی

سایر رشته‌ها در محافل اختصاصی و ... فراهم نماید.

- طراحی نظام پایش روند تولیدات علمی و فناورانه جهان به منظور رصد تغییر و تحولات این حوزه و برنامه‌ریزی‌های مناسب برای کار در داخل کشور

سپاسگزاری

از آقایان داود قرایلو، یاسر خوشنویس و مهدی نادری برای همکاری در پیشرفت این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

References منابع

[1] Roco, M. C., & Bainbridge, W. S. (2012). **Converging technologies for improving human performance: nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science.** Tehran: *Institute for Defense Research and Training.* {In Persian}.

[2] Committee on Key Challenge Areas for Convergence and Health; Board on Life Sciences; Division on Earth and Life Studies; National Research Council. (2014). **Convergence Facilitating Transdisciplinary Integration of Life Sciences, Physical Sciences, Engineering, and Beyond.** Washington: *National Academies Press.*

[3] Jeong, S., Kim, J. C., & Choi, J. Y. (2015). **Technology convergence: What developmental stage are we in?** *Scientometrics,* 104(3), 841-871.

[4] Paya, A., & Kalantarinezhad, R. (2011). **Philosophical Assessment and Policy Implications of the Impact of Convergent Sciences & Technologies on Culture and Society: A Study from the Viewpoint of Critical Rationalism.** *Journal of Science & Technology Policy,* 2(4), 32-52. {In Persian}.

[5] Organization for Economic Co-operation and Development. (2014). **Challenges and Opportunities for Innovation through Technology: The Convergence of Technologies.** http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DSTI/STP(2013)15/FINAL&docLanguage=En

[6] Heimeriks, G. (2013). **Interdisciplinarity in biotechnology, genomics and nanotechnology.** *Science and Public Policy,* 40(1), 97-112.

[7] Wang, L., & Notten, A. (2011). **Mapping the interdisciplinary nature and co-evolutionary patterns in five nano-industrial sectors.** *Paper presented at the DIME Final Conference,* 6-8 April, Maastricht.

[8] Erfanmanesh, M. A., and Asnafi, A. R. (2016). **The study of the status of international scientific products in the field of converging technologies at the Web-based site.** *The 9th Pioneering Congress of Progress,* Center for Islamic Model of Progress. Tehran. {In Persian}. http://www.civilica.com/Paper-KPIP09-KPIP09_018.html.

[9] Porter, A. L., & Youtie, J. (2009). How **interdisciplinary is nanotechnology?** *Journal of Nanoparticle Research,* 11(5), 1023-1041.

[10] Porter, A. L., & Rafols, I. (2009). **Is science becoming more interdisciplinary? Measuring and mapping six research fields over time.** *Scientometrics,* 81(3), 719-745.

[11] Wang, L., Notten, A., & Surpatean, A. (2013). **Interdisciplinarity of nano research fields: a keyword mining approach.** *Scientometrics,* 94(3), 877-892.

[12] Maghrebi, M., Abbasi, A., Amiri, S., Monsefi, R. & Harati, A. (2011). **A collective and abridged lexical query for delineation of nanotechnology publications.** *Scientometrics,* 86, 15-25.

[13] Liu, G.Y., Hu, J. M., & Wang, H. L. (2012). **A co-word analysis of digital library field in China.** *Scientometrics,* 91(1), 203-217.

[14] Hu, C. P., Hu, J. M., Deng, S. L., & Liu, Y. (2013). **A co-word analysis of Library and Information Science in China.** *Scientometrics,* 97(2), 369-382.

[15] Sedighi, M. (2015). **Using of co-word analysis method in mapping of the structure of scientific fields (case study: The field of Informetrics).** *Journal of Information Processing and Managemen,* 30(2), 373-396. {In Persian}. http://jipm.irandoc.ac.ir/article-1-2583-fa.html.

[16] Sohaili, F., Shaban, A., & Khase, A. (2016). **Intellectual Structure of Knowledge in Information Behavior: A Co-Word Analysis.** *Human Info Interact,* 2(4), 21-35. {In Persian}. http://hii.khu.ac.ir/article-1-2446-fa.html.

[17] Bassecoulard, E., Lelu, A., & Zitt, M. (2007). **Mapping nanosciences by citation flows: A preliminary analysis.** *Scientometrics,* 70(3), 859-880.

[18] Habibi Rezaee, M. (2003). **Introduction to Nanotechnology Biotechnology (Nano Biotechnology).** *Rahyaft Journal,* 30(3), 98-107. {In Persian}.

[19] Ghadam, P., & Jomehsangi, Z. (2007). **Biological Nano sensors (Nano biosensors).** *The Nano world,* 9(31), 30-36. {In Persian}.

[20] Paya, A. and Kalantari Nezhad, R. (2011). **The fourth wave of scientific-technological development and its cultural and social consequences in Iran.** Tehran: *National Research Policy Research Center.* {In Persian}.

[21] Research's directs in Nanotechnology. (2004). Translation by: Shahverdi, M. R., & Maghrebi, M. Tehran: *Athena*. {In Persian}.

[22] Roco, M. C. & Bainbridge, W. S. (2002). **Converging technologies for improving human performance: nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science.** (PDF). *U.S. National Science Foundation.* www.wtec.org/ConvergingTechnologies/Report/NBIC_report.pdf

[23] Neyabzadeh, M. (2015). **Introducing Bioinformatics Knowledge.** *Tebayan Database, Knowledge and Life Section,* http://article.tebyan.net/212557/. {In Persian}.

[24] Khodapanahy, M. K. (2004). **Physiological Psychology.** Tehran: *Side,* Second edition. {In Persian}.